Boll. Soc. Hist. Nat. Balears, 29 (1985): 87-108 Palma de Mallorca.

APORTACIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA MINERALIZACIÓN DE LAS AGUAS DE LA ALBUFERA DE ALCÚDIA (MALLORCA). INTENTO DE CLASIFICACIÓN

A. MARTÍNEZ TABERNER, G. MOYÁ y G. RAMÓN[1]

PALABRAS CLAVE: Mineralización, Lagunas costeras, Mediterráneo.

RESUMEN: Los valores de la alcanidad, pH, conductividad, calcio, magnesio, sodio, potasio y cloruros, determinados en un importante número de muestras de agua, obtenidas durante la época estival en 39 puntos ampliamente distribuidos en el seno de la Albufera de Alcúdia, ponen de manifiesto la existencia de diferencias significativas en la composición del agua situada en las capas superficiales y la de las proximidades del fondo. Igualmente se observan variaciones importantes entre los distintos puntos que posibilitan el establecimiento de cuatro zonas claramente diferenciadas.

RESUM: Durant el període d'estiu s'obtingueren mostres d'aigua en un total de 39 punts distribuits per tot el conjunt de l'Albufera d'Alcúdia. Els valors resultants de les determinacions de l'alcalinitat, el pH, els clorurs, el calci, el magnesi, el sodi, el potasi i la conductivitat mostren variacions entre l'aigua obtinguda en superfície i la que es va recollir prop del fons; a més a més es troben canvis significatius en la composició química de l'aigua recollida a diferents punts de l'Albufera, la qual cosa ha permés classificar les estacions de mostreig en quatre grups ben diferenciats.

ABSTRACT. CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF WATER'S MINERALIZATION IN THE ALBUFERA OF ALCUDIA (MALLORCA). A PURPOSE OF CLASSIFICATION. Alkalinity, pH, conductivity, magnesium, calcium, sodium, potassium and chloride were determined in water samples collected during summer at 39 collection sites located in the artificial channels and coastal lagoons of the Albufera of Alcúdia. Chemical differences beween water samples collected near the surface and near the bottom are analized. Four water clusters were found in the Albufera according to their chemical characteristics.

(1) Facultat de Ciències. Universitat de les Illes Balears

INTRODUCCIÓN

Las albuferas son uno de los ejemplos de zonas húmedas de transición entre ambientes dulceacuícolas y marinos. El hecho de constituir ecosistemas frontera les confiere un carácter esencialmente fluctuante, unido a una cierta temporalidad, y todo ello hace que presenten un grado extremo de asimetría transversal (MARGALEF, 1983). Consecuentemente, en tales ambientes se presentan grandes fluctuaciones a lo largo del año y, particularmente en el área mediterránea (CARRADA *et al.*, 1983), la doble influencia continental y marina unida a la variedad de tipologías y condiciones climáticas existentes en el Mediterráneo, condiciona una total ausencia de regularidad y previsibilidad, de tal manera que es prácticamente imposible generalizar a partir de los datos obtenidos en uno de tales ambientes.

Las zonas húmedas presentan una serie de características que las convierten en los medios más vulnerables y amenazados del mundo. Al mismo tiempo les confieren unas ventajas únicas, no sólo desde el punto de vista biológico y ecológico -gran variedad de hábitats y ecotonos, elevada producción primaria, capacidad de absorción de elementos nutritivos y de contaminantes, etc.-, sino también desde una perspectiva social y económica -elevada producción de alimentos animales y vegetales, producción de fibras y combustibles, considerable valor didáctico y paisajístico, etc.-; tal y como ha sido puesto de manifiesto de forma reiterada (ODUM, 1972; KUENEN, 1977; COMÍN, 1984; NOBLE & WOLFF, 1984; entre otros). Estas ventajas son un argumento más que convincente de cara a la necesaria protección y conservación de las zonas húmedas naturales como se viene haciendo ya en distintos paises; algunos de los cuales van más allá y proceden a la creación de áreas húmedas artificiales (SUÁREZ, 1976).

Las zonas húmedas litorales son ecosistemas en franca regresión a nivel mundial debido a la acción antrópica, habiéndose procedido a su desecación con fines esencialmente agrícolas y con resultados, las más de las veces, claramente negativos; o bien con un objetivo exclusivamente destructor, que no admite excusa ni paliativo alguno, encaminado a la especulación del suelo. Todo ello va en detrimento de una utilización más racional de tales ecosistemas, dadas las posibilidades anteriormente apuntadas, o de su mera conservación y mantenimiento al objeto de posibilitar la observación, el estudio y el conocimiento de unos sistemas particularmente interesantes en sí mismos y que además son unos auténticos termómetros del estado de "salud ecológica" no sólo de la zona y sus alrededores, sino también de todos los ecosistemas terrestres

localizados en las diferentes cuencas hidrológicas de las que provienen las aguas que, en último término, alcanzan la zona húmeda.

El interés y la problemática inherentes a las zonas húmedas ha sido reconocido y señalado desde antiguo; así, en 1961, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (U.I.C.N.), junto con el International Wildfowl Research Bureau (I.W.R.B.) y el International Council for Bird Preservation (I.C.B.P.), lanzó el denominado "Proyecto MAR" con el fin de dar a conocer el gran interés de las zonas húmedas y ayudar a su conservación. Este proyecto originó, en 1965, la llamada "Lista MAR" en la que se incluían un total de 217 sistemas húmedos naturales ubicados en Europa Occidental y el Norte de África, todos gravemente amenazados y por tanto objeto de especial protección.

La Albufera de Alcúdia es una de las diez zonas húmedas españolas incluidas en la "Lista MAR", ello de por sí ya da una idea del interés de la misma que se ve incrementado por otro hecho muy significativo, no resaltado de forma adecuada y sobre el que nos interesa insistir, tal es el de constituir, junto con el Delta del Ebro y la Albufera de Valencia, una de las tres únicas zonas húmedas españolas mediterráneas comprendidas en la mencionada relación.

En los diferentes trabajos de síntesis (G.O.B., 1976; BARCELÓ & MAYOL, 1980) se ha incidido fundamentalmente en estudios geográficos, botánicos y faunísticos para resaltar el interés de la Albufera de Alcúdia de cara a su conservación. Posteriormente se ha hecho hincapié en la importancia de la zona como valor didáctico, pedagógico y educativo (SUREDA, 1985). No obstante las características limnológicas esenciales y básicas, tales como son los aspectos de limnología física y química y los aspectos biológicos -fitoplacton, macrófitos, zooplacton, bentos, etc.-, incluso los meramente descriptivos, son prácticamente desconocidos en su totalidad y en ningún caso se ha hecho referencia a la importancia de los mismos. Esta situación es ciertamente paradójica y preocupante, ya que son precisamente tales características, la base de todo el ecosistema, las que explican la importancia y las singulares propiedades de una zona húmeda como la Albufera de Alcúdia y es a partir de su conocimiento y seguimiento cuando pueden ser explicadas, de forma correcta, justificada y con un mínimo margen de error, los cambios directamente observables en la zona y, al mismo tiempo, obtener una muy considerable información respecto a sistemas próximos o alejados, pero conectados a través del agua circulante.

Con el presente trabajo se pretende iniciar una contribución al conocimiento limnológico de la Albufera de Alcúdia, subsanar parcialmente la laguna

existente en la descripción de la misma y presentar una tipificación de esta zona en base a estas características fundamentales que son, en último término, la explicación de la diversidad y de las diferencias constatables en el ambiente.

ÁREA DE ESTUDIO

La Albufera de Alcúdia constituye la principal zona húmeda de la isla de Mallorca. Localizada en la porción NE de la isla (figura 1) su superficie se reparte, pese a su denominación, entre los términos municipales de Alcúdia, Sa Pobla y Muro; y aunque la mayor extensión de la zona considerada queda incluida dentro de este último municipio, la finca con la denominación de S'Albufera y las principales lagunas -"estanys"-, hoy enfáticamente rebautizadas como "lagos", se ubican en el término municipal de Alcúdia.

GEOLOGÍA. Desde el punto de vista geológico la Albufera forma parte de una cubeta de subsidencia separada por una restinga, probablemente mar adentro

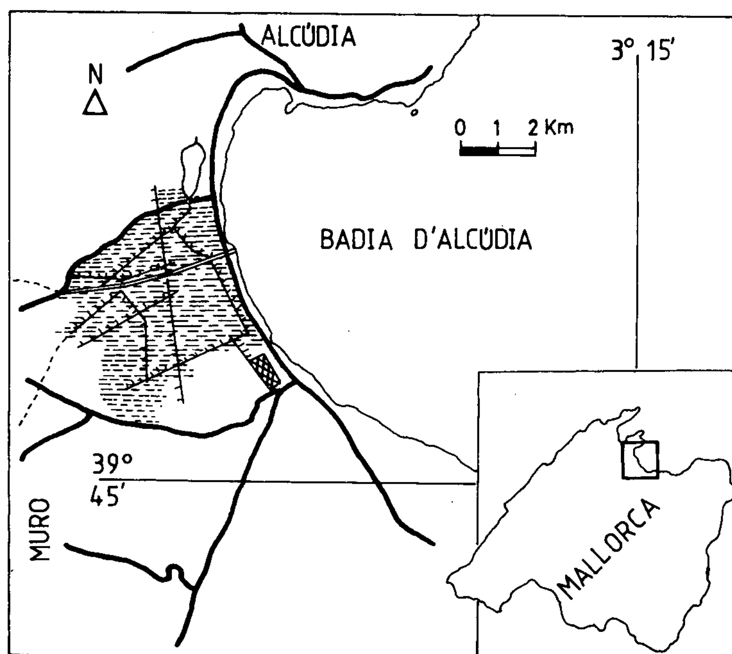


Fig. 1.– Situación geográfica de la Albufera de Alcúdia.

de la actual costa, originada como consecuencia de los procesos acontecidos durante una gran regresión, posiblemente durante el período glaciar Riss o algo anterior. Los ciclos climáticos y las oscilaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno y el Holoceno determinaron la acumulación de sedimentos, los más antiguos corresponden a aluviones integrados por conglomerados con gravas y limos ferruginosos de color rojo, sobre ellos se encuentran depósitos marino-lagunares integrados por calcarenitas grisáceas y blanquecinas y por encima de ellas se hallan formaciones arenosas y arcillo-limosas de color gris verdoso. Las zonas que actuaron como bordes conservan huellas de la acción marina, tales como rasas y terrazas, o bien revelan la existencia de barras dunares (MUNTANER, 1980).

Los depósitos de aluviones recientes, en general transformados en suelos aluviales y que en buena parte han sido roturados y cultivados, son determinantes de la imposibilidad de conocer con exactitud los límites primitivos de la Albufera. Además de los suelos aluviales, en la Albufera de Alcúdia se localizan suelos poco evolucionados -esencialmente en la franja o cordón litoral- y diferentes tipos de suelos hidromorfos, como son los suelos hidromorfos con gley y los turbosos -en las zonas permanentemente inundadas- y los suelos hidromorfos salinos, en las zonas inundadas estacionalmente (RIPOLL, 1980).

MORFOLOGÍA. La morfología actual y buena parte de las características hidrodinámicas presentes son consecuencia de la actividad humana llevada a cabo en y/o contra la Albufera. La utilización de la Albufera por parte del hombre se remonta evidentemente a los primeros tiempos históricos, pudiendo haber desempeñado un papel fundamental durante la dominación romana (MUNTANER,1980), si bien la influencia del hombre sobre el ecosistema en estas épocas sería prácticamente nula.

Todo el conjunto de acciones e influencias ejercidas por el hombre sobre la Albufera de Alcúdia han sido perfectamente sintetizadas y analizadas desde una perspectiva geográfica por PICORNELL (1985). En este sentido cabe reseñar dos hitos fundamentales en la modificación de la Albufera por el hombre y ambos centrados en tiempos recientes.

El primero de ellos corresponde a la quimera de desecación de zonas húmedas imperante en el siglo XIX y encaminada a la eliminación de los problemas de tipo sanitario y al incremento del desarrollo agrícola; en la Albufera de Alcúdia esta actividad se desarrolla fundamentalmente durante los años sesenta del siglo pasado y supuso la desecación de un total de 2146 hectáreas –si bien la superficie finalmente cultivable útil quedó reducida a sólo 400 Has–, la construcción de unos 50 kilómetros de caminos y puentes en el interior de la Albu-

fera y alrededor de 400 kilómetros de acequias y canales, realizada paralelamente a la obra de desecación, supuso un cambio en la configuración original de la zona y una rectificación en la circulación y comunicación de las aguas con el mar.

El segundo, muy reciente y mucho menos justificable, responde a la influencia general ejercida por el turismo en la isla de Mallorca. Iniciada ya a principios del presente siglo, adquiere su mayor significación a comienzos de los años sesenta con una rápida y contínua destrucción de los terrenos de la Albufera más próximos a la zona costera, incluyendo la propia barra dunar, y particularmente en el término municipal de Alcúdia; acompañada de una incesante edificación derivada de proyectos urbanizadores claramente encaminados a la consecución de plazas hoteleras o a la construcción de segundas residencias.

Esta actuación humana ha supuesto la modificación sustancial de todo el sistema natural y una progresiva reducción del mismo, cifrándose en sólo unas 1400 Has la superfície que quedará más o menos preservada y que esencialmente corresponde a una parte de la zona de la Albufera en conjunto, esto es los cordones dunares actual e interno y la playa marina no son incluidos o sólo de un modo muy fragmentario.

HIDROLOGÍA. El disponer de datos fiables y contrastados relativos a los aportes de agua que llegan a la Albufera (FUSTER, 1973; JAUME, 1980) y la existencia en la misma de un complejo sistema de canales y acequias resultantes de la actividad humana podrían inducir al convencimiento de que la hidrología de la Albufera no ofrece dificultad alguna; sin embargo, nada más lejos de la realidad, la hidrología de la Albufera de Alcúdia sigue siendo prácticamente desconocida como consecuencia de las deficiencias, limitaciones y problemática que se señalan a continuación.

De entrada se ha de indicar que la situación geográfica de la Albufera, bajo el dominio climático mediterráneo, condiciona la existencia de unos aportes marcadamente estacionales; además, las canalizaciones establecidas en el seno del ambiente determinan que buena parte de los aportes circulen a través de los mismos llegando directamente al mar y sólo en contadas ocasiones estas aguas provocan inundaciones.

Así, aproximadamente la mitad del agua aportada a la Albufera de Alcúdia lo hace a través de dos torrentes; el de Almadrà -que a su llegada a la Albufera recibe la denominación de Torrent de Muro- y el de Sant Miquel. A través del primero -con un caudal de escorrentía máximo de 18'5m^3/s- llegan de 4 a 8 Hm^3 por año y por el segundo se alcanzan los 16 Hm^3 anuales. Se ha

de destacar que un 85 % de este último volumen procede de las fuentes conocidas como “Ses Ufanes” que sólo manan -en un año medio- unos tres períodos de tres días cada uno; ello determina un caudal en escorrentía máxima -media diaria- de unos 25 m^3/s para el torrente de Sant Miquel, pudiendo alcanzar un caudal instantáneo de 100 m^3/s.

Este régimen torrencial y estacionario del 50 % de los aportes hídricos de la Albufera tiene unas repercusiones claramente significativas, y que en general permanecen desconocidas o no han sido evaluadas, respecto a las aguas contenidas en los canales, que de entrada han de ser considerados como ambientes lóticos, pierden sus peculiaridades durante la estación seca y pueden ser tipificados, en este momento, como ambientes lénticos. Las variaciones en la velocidad de la corriente en los distintos canales, así como la evolución del nivel del agua en los mismos a lo largo del año, aspectos sumamente interesantes en la dinámica del sistema, son desconocidos por completo o casi. Otro aspecto relacionado con el régimen torrencial y estacionario, que tampoco puede ser obviado, radica en las variaciones que pueden introducir los aportes en las características de las aguas circulantes en los canales, ya que todo incremento de los aportes supone una dilución de la masa de agua circulante y además puede condicionar su enriquecimiento en determinadas sustancias procedentes del efecto de lavado y disolución de los terrenos por los que ha pasado.

La otra mitad de los aportes corresponde al flujo procedente de fuentes y manantiales situados en los límites de la Albufera, siendo con mucho la fuente de Sant Joan la de mayor contribución. No obstante, pequeños volúmenes de agua tienen su origen en surgencias -“ullals”- situadas en el seno de la Albufera misma, algunas de ellas probablemente todavía no han sido localizadas y la práctica totalidad de las mismas permanece sin catografiar. El volumen de agua aportado por tales surgencias puede ser cuantitativamente poco significativo; sin embargo, las influencias de tipo local sobre las características de las aguas pueden ser muy considerables.

Finalmente, otro aspecto a no olvidar y, que igualmente debería ser analizado y cuantificado, es el referente a la doble circulación en los canales y especialmente en su zona más próxima a la costa. En ellos existe una capa superficial de agua desalada de origen continental y, en consecuencia, circulando hacia el mar, por debajo de ella se localiza una capa de agua salada de origen marino y con un sentido de circulación opuesto a la anterior. Este fenómeno es característico en todos los ambientes continentales costeros (MARGALEF, 1983) y la Albufera de Alcúdia no supone, en este sentido, excepción alguna, tal y como puede deducirse claramente a partir de los resultados que se presentan en este trabajo.

BIOLOGÍA. La flora de la Albufera de Alcúdia ha sido estudiada al menos parcialmente y puede encontrarse un catálogo de la misma en BARCELÓ & MAYOL (1980). De modo muy general podemos señalar la existencia de tres tipos de vegetación claramente predominantes en la Albufera. La barrera dunar viene caracterizada por una sucesión de *Agropyretum mediterraneum* (Kühnh) Br.-Bl., *Ammophiletum arundinaceae* Br.-Bl. y *Crucianelletum maritimae* Br.-Bl., prácticamente destruida, y la existencia de una maquia de *Asparago–Juniperetum macrocarpae* (R. et R. Mol.) O. de Bolós, en su zona interior, también con importantes perturbaciones (BOLÓS & MOLINIER, 1958; MARTINEZ–TABERNER, 1983a y 1983b). En el interior de la Albufera, en la Albufera propiamente dicha, y sobre terrenos salinos se extiende el *Arthrocnemion fruticosi* Br.-Bl. con zonas encharcadas de *Ruppion maritimae* Br.-Bl. En la superficie sometida a una mayor influencia de las aguas dulces se desarrolla el *Phragmition australis* W. Koch et Tx., acompañado de *Lemnion minoris* W. Koch et Tx. en pequeños estanques y de *Glycerio Sparganion* Br.-Bl. et Sissing y *Potamogetonion eurosibisicum* W. Koch en las canalizaciones.

Los estudios botánicos han incidido fundamentalmente sobre formas macroscópicas y esencialmente fanerógamas, por lo que la criptogamia sigue presentando muchas lagunas, incrementadas para las formas microscópicas de las que sólo de dispone de informaciones puntuales y muy parciales, prácticamente restringidas al trabajo ya clásico de MARGALEF (1953).

La situación descrita para la vegetación es prácticamente idéntica a la referente a la fauna. En efecto, se poseen informaciones, más o menos completas, relativas a las especies de vertebrados presentes en la Albufera; siendo, obviamente y con gran diferencia, la avifauna la más estudiada; así mismo se han realizado algunos trabajos sobre determinados grupos de macroinvertebrados (BARCELÓ & MAYOL, 1980). Sin embargo, el grupo de los invertebrados acuáticos es casi desconocido y todavía faltan estudios específicamente centrados en la Albufera; también en este caso las deficiencias se incrementan al tratarse de formas microscópicas y particularmente para las acuáticas, para las que sólo se dispone de la información fragmentaria contenida en el trabajo ya citado de MARGALEF (1953).

MATERIAL Y MÉTODOS

Al objeto de recabar la máxima información posible relativa a las características químicas de las aguas de la Albufera de Alcúdia se procedió a determi-

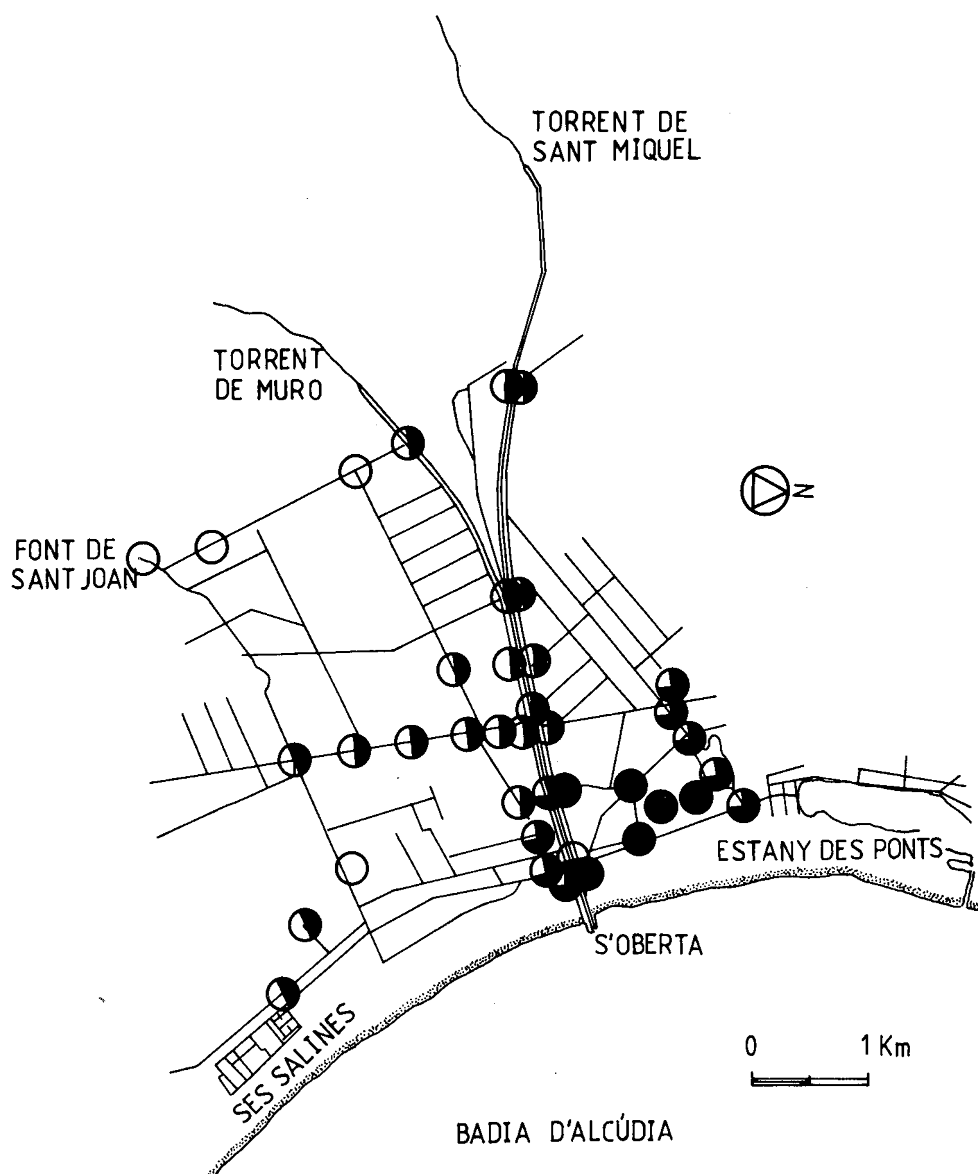


Fig. 2.– Localización de las estaciones de muestreo. (La simbología utilizada corresponde a los cuatro grupos derivados de la discusión del presente trabajo).

nar un total de 39 puntos de muestreo, distribuidos en el seno del sistema (figura 2). Estas estaciones incluyen los principales aportes de agua superficiales, tanto torrentes como fuentes; niveles distintos –en función de su proximidad al mar– de los canales principales y secundarios; y algunos de los pequeños estanques todavía existentes.

La totalidad de las estaciones fueron muestreadas a lo largo del verano de 1983 y en cada una de ellas, siempre que la altura de la columna de agua lo permitía, se consideró un nivel superficial y un nivel profundo.

En cada uno de los puntos de muestreo y, siempre que ello fue posible, para los dos niveles mencionados, se procedió a la medición "in situ" de la temperatura y el pH del agua haciendo uso de medidores eléctricos específicos suministrados por la casa Crison.

Las muestras de agua se obtuvieron empleando un tomamuestras horizontal tipo LaMotte, modelo JT-1, de un litro de capacidad.

Una vez transportadas al laboratorio, las muestras de agua se emplearon para determinar las variables químicas. La conductividad se midió haciendo uso de un conductímetro tipo CDM2 de la casa Radiometer y sobre una fracción de la muestra original no sometida a ningún tratamiento previo, paralelamente se procedió a una nueva lectura de la temperatura de la muestra al objeto de estandarizar los valores de conductividad a una temperatura de 20ºC. La alcalinidad se determinó sobre otra fracción de la muestra original y utilizando una modificación del método de Wattenberg (Ros, 1979). El resto de la muestra se sometió a un proceso de filtración, a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C, y el filtrado se utilizó para las restantes determinaciones. Sobre una parte del filtrado se llevó a cabo el análisis de la concentración de cloruros en la muestra de agua, siguiendo esencialmente en método de Knudsen (STRICKLAND & PARSONS, 1972). Otra fracción de filtrado se utilizó para la determinación de los cationes Na^{+}, K^{+}, Ca^{++} y Mg^{++}, haciendo uso de un espectrofotómetro de absorción atómica, modelo 703 de la casa Perkin-Elmer.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los valores promedio para cada una de las variables consideradas en las aguas de la Albufera, separando los correspondientes a las muestras procedentes de la capa superficial y los de las capas próximas al fondo. Igualmente se indican los valores límite -máximo y mínimo- en-

	SUPERFICIE	FONDO
CONDUCTIVIDAD	17,64	19,70
mS/cm (20ºC)	1,92-46,90	1,98-68,00
CLORUROS	212,74	225,46
meq/l	15,80-599,95	19,74-589,94
ALCALINIDAD	4,98	5,21
meq/l	3,20-8,75	2,90-10,50
pH	7,79	7,54
	7,05-8,56	7,11-8,20
CALCIO	17,38	17,83
meq/l	6,49-38,42	6,99-40,92
MAGNESIO	63,88	64,24
meq/l	10,70-176,88	9,87-152,20
SODIO	255,87	356,36
meq/l	24,79-998,26	27,84-1472,38
POTASIO	4,42	5,70
meq/l	0,42-15,35	0,65-16,50
(Mg + Ca)/(Na + K)	0,26	0,28
Relación molar	0,08-0,68	0,06-0,77

Tabla 1.– Valores medio, mínimo y máximo para cada una de las variables determinadas en las aguas de la Albufera de Alcúdia. Se han separado los obtenidos en capas superficiales y los correspondientes a las capas más próximas al fondo.

tre los que se sitúan la totalidad de los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros.

El número de muestras de superficie coincide con el de estaciones establecidas en las aguas de la Albufera, esto es 39, para todo el conjunto de las variables analizadas, exceptuando la alcalinidad que no pudo ser determinada en una de ellas. En cuanto a las muestras de profundidad, su número se ha visto reducido a 24 estaciones, como consecuencia, fundamentalmente, de la imposibilidad material de obtener el volumen de agua necesario, de modo que fuera fiable y significativo, en alguno de los puntos de muestreo debido a la poca altura de la columna de agua.

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se ha representado, trazando isopletas libremente entre los distintos puntos de muestreo, la distribución de los valores obtenidos para cada uno de los parámetros analizados en las aguas de la Albufera, diferenciando los correspondientes a las muestras procedentes de superfície y las de las proximidades del fondo.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en las aguas de la Albufera de Alcúdia (tabla 1) vienen inicialmente caracterizados por su distribución dentro de límites muy amplios. Esta característica es una peculiaridad de los ecosistemas acuáticos costeros poco profundos similares al que nos ocupa. Así, en los análisis verificados sobre ambientes de naturaleza parecida a la de la Albufera y ubicados en la propia cuenca mediterránea se ha podido constatar la existencia de amplias variaciones en los parámetros químicos, no sólo a lo largo del año para un punto concreto (SCHACHTER *et al.*, 1953; FIALA, 1972; DAFAUCE, 1975; FERRER & COMIN, 1979; BAUDIN, 1980; MARGALEF-MIR, 1981; SECHI, 1983a y 1983b; COMIN, 1984; entre otros), sino también para zonas distintas de un mismo ambiente en una época concreta del año, tal y como se ha podido constatar en los estudios realizados en las zonas húmedas peninsulares claramente significativas y comparables: la Albufera de Valencia (DAFAUCE, 1975) y el Delta del Ebro (FERRER & COMIN, 1979; COMIN, 1984). Este comportamiento es una consecuencia directa de la propia heterogeneidad de tales ambientes y viene condicionado, fundamentalmente por sus particularidades hidrológicas, si bien no siempre se halla exento de influencias humanas (DAFAUCE, 1975; CHASSANY, 1979; COMIN, 1984; entre otros).

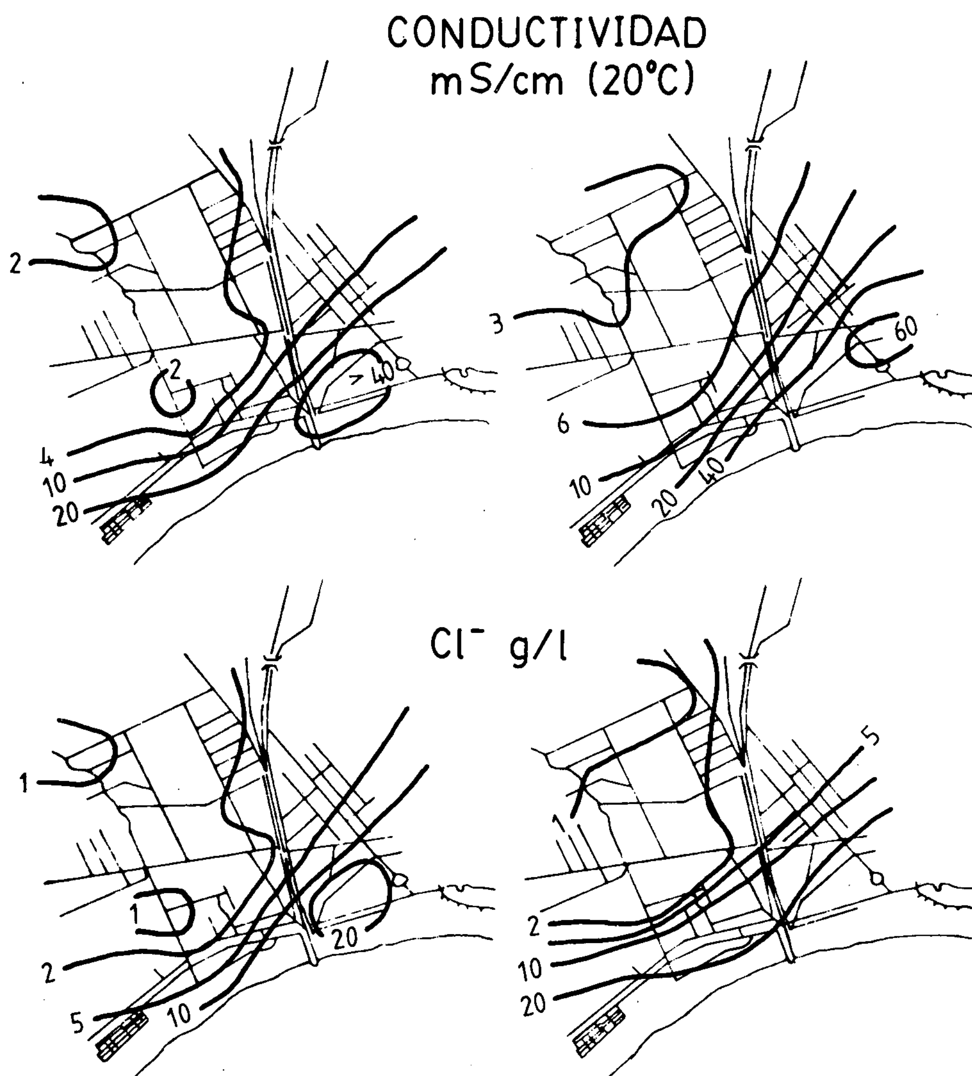


Fig. 3.– Distribución de los valores de **conductividad** (arriba) y **cloruros** (abajo) en las capas de agua superficiales (izquierda) y próximas al fondo (derecha).

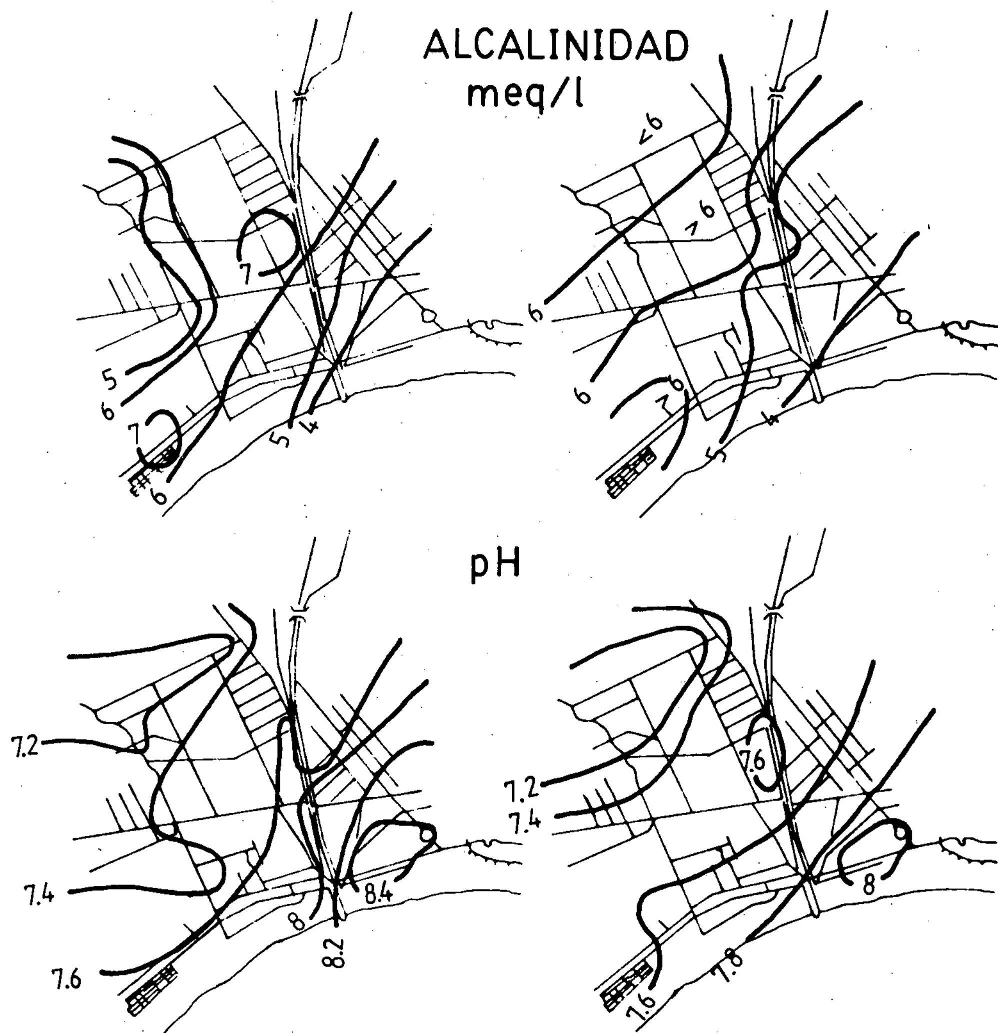


Fig. 4.– Distribución de los valores de **alcalinidad** (arriba) y **pH** (abajo) en las capas de agua superficiales (izquierda) y próximas al fondo (derecha).

Cuando se comparan los resultados obtenidos en las aguas de la Albufera de Alcúdia con los determinados en los ambientes mediterráneos anteriormente citados se observa que no existen diferencias significativas, situándose dentro de los límites comúnmente referidos en la literatura.

La distribución de los valores obtenidos en el interior de la Albufera (figuras 3, 4, 5 y 6) pone de manifiesto la existencia de un gradiente muy marcado. Para la mayoría de las variables analizadas este gradiente es positivo a medida que nos aproximamos a la línea de costa; mientras se constata, al menos parcialmente, un gradiente positivo en sentido opuesto para la alcalinidad (figura 4). Esta distribución es claramente concordante y puede considerarse derivada de la influencia ejercida por el ambiente marino sobre las aguas de la Albufera, ya que los valores en la zona de la misma más próxima a la costa tienden a aproximarse a los habitualmente referidos para el agua del mar (MARGALEF, 1974).

Esta misma pauta puede ser observada en la distribución de los valores obtenidos en la muestras procedentes de las proximidades del fondo (figuras 3, 4, 5 y 6), si bien las determinaciones de los parámetros analizados arrojan en este caso unos valores generalmente superiores a los de la capa superficial, tanto de forma global (tabla 1) como en cada una de las estaciones muestreadas. Esta situación pone de manifiesto la existencia en las aguas de la Albufera de Alcúdia, pese a la escasa altitud del nivel de las mismas, de un gradiente de densidad vertical que, al menos en buena parte, sería consecuencia de la doble circulación de agua en sentidos opuestos que se establece en sistemas como el que nos ocupa (MARGALEF, 1983).

La constatación de un gradiente vertical de densidad creciente hacia el fondo pemite presuponer, de entrada, la existencia de situaciones claramente diferenciadas entre las capas superficiales y las más profundas; así, en estas últimas deben predominar procesos de tipo respiratorio y oxidativo de materia orgánica, siendo las diferencias de pH observadas (figura 4) un claro reflejo de los mismos. como consecuencia de todo ello, las capas de agua próximas al fondo presentan un considerable déficit en la concentración de oxígeno disuelto (datos propios no publicados).

La verificación de la existencia de una pauta común para las variables analizadas, reflejada en los mapas de isolíneas, permitiría el establecimiento de una clasificación de las aguas de la Albufera utilizando simplemente uno de ellos como referencia. Habitualmente se recurre a los valores de salinidad, ya que un elevado número de parámetros varían de forma paralela o bien son claramente dependientes de tales cambios (CHASSANY, 1979); sin embargo, las

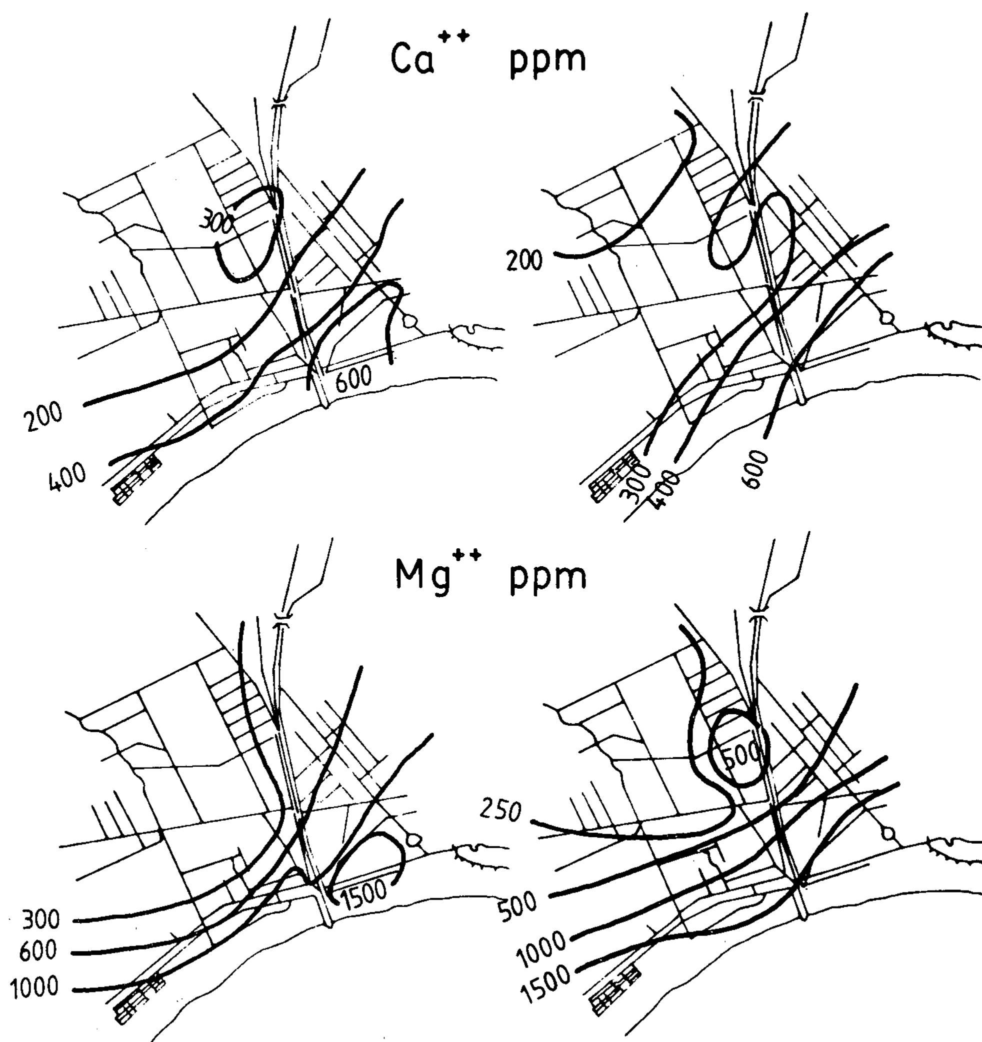


Fig. 5.– Distribución de los valores de **calcio** (arriba) y **magnesio** (abajo) en las capas de agua superficiales (izquierda) y próximas al fondo (derecha).

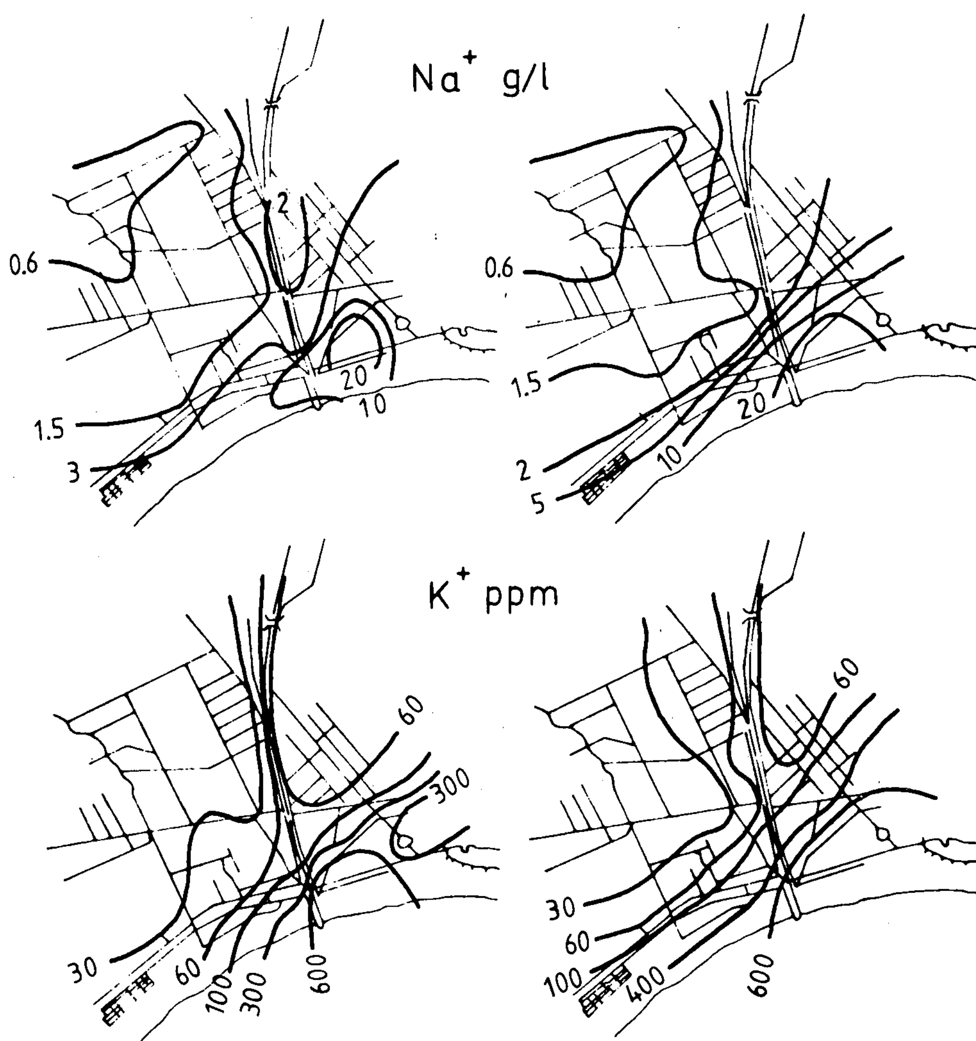


Fig. 6.– Distribución de los valores de **sodio** (arriba) y **potasio** (abajo) en las capas de agua superficiales (izquierda) y próximas al fondo (derecha).

clasificaciones elaboradas en base a la salinidad muestran divergencias sensibles en los límites considerados por unos u otros autores (MARGALEF, 1955) y su aplicación a un ambiente concreto suele plantear dificultades que exigen modificaciones y nuevas clasificaciones (AGUESSE, 1957). En consecuencia, hemos optado por realizar una matriz de correlación entre los diferentes parámetros analizados utilizando los valores procedentes de las muestras de superfície, más ampliamente distribuidas que las obtenidas en capas próximas al fondo. Los valores resultantes aparecen representados en el dendrogama de la figura 7, que se ha realizado aplicando el algoritmo del mínimo (SNEATH, 1957; JOHNSON, 1967; CUADRAS, 1981; entre otros).

En la figura 7 se aprecia la existencia de una correlación hasta un nivel de 0,9 entre la conductividad, el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio y los cloruros; mientras la alcalinidad y el pH se hallan poco correlacionados con el resto de las variables.

A partir de los resultados obtenidos se ha procedido a realizar una representación tridimensional, utilizando como referencias la alcalinidad, el pH y la conductividad, considerando este último parámetro globalizador del resto de los determinados. Ello ha permitido reunir las estaciones muestreadas en la Albufera de Alcúdia (figura 2) en cuatro grupos diferenciados.

En el primer grupo (O) se incluyen estaciones con unos valores mínimos de pH, de entre todo el conjunto de la Albufera, y situados dentro de límites estrechos; igualmente los valores de conductividad de las aguas son bajos y suponen los menores, en promedio, de toda la zona. Las estaciones incluidas en el grupo son mayoritariamente las sometidas a la influencia de las aguas freáticas, procedentes fundamentalmente de Sa Font de Sant Joan; no obstante se puede pensar que en este grupo se incluirán un amplio número de localizaciones muy puntuales y correspondientes al considerable número de afloramientos de agua –"ullals"–, muchos de ellos ni siquiera cartografiados, existentes en el seno de la Albufera. Aunque en principio se podría establecer una cierta similitud con aguas dulces, su conductividad revela valores muy por encima de los normales en este tipo de aguas (HUTCHINSON, 1957). Igualmente, tales diferencias son evidentes a partir del examen de su composición iónica, siendo el sodio y los cloruros claramente dominantes sobre el calcio y los bicarbonatos. La relación entre los cationes divalentes y monovalentes alcanza sus máximos (tabla 1) en este grupo, quedando dicho valor alejado del habitual en las aguas marinas, pero todavía mucho más distanciado del propio de las aguas dulces. Los valores de la alcalinidad son también superiores a los comúnmente hallados en ambientes dulceacuícolas.

El segundo grupo (◑), considerado en conjunto, viene caracterizado por presentar una amplitud máxima entre los límites extremos definitorios y ello para cada uno de los tres parámetros considerados. Se trata de un claro reflejo del gradiente existente en la Albufera y que alcanza sus máximos en este grupo, en el que quedan incluidas estaciones pertenecientes a los canales, acentuándose todavía más las múltiples influencias ejercidas por las aguas marinas y las de origen freático. Esta situación complica cualquier intento de tipificación en ambientes como el que nos ocupa; sin embargo, este grupo queda claramente separado de los siguientes por sus valores de conductividad y del primer grupo por los valores del pH; igualmente la relación entre los cationes divalentes y monovalentes, que en este grupo presenta unos valores que en promedio son superiores a 0,3, marca unas diferencias muy significativas de este grupo respecto a los restantes. Los valores de la alcalinidad, en promedio, alcanzan en este grupo los máximos para toda la Albufera.

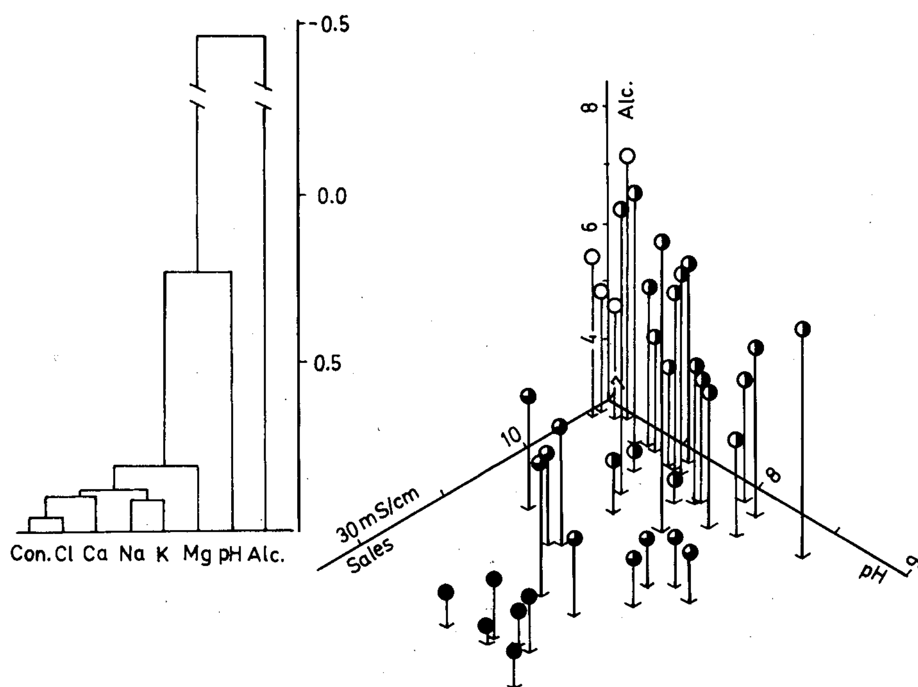


Fig. 7.– Dendrograma de las correlaciones existentes entre las variables analizadas y agrupamientos de las estaciones de muestreo. (Para más información véase el texto).

En el grupo tercero (◐) quedan incluidas estaciones con algunas similitudes respecto a las del grupo anterior, pero en este caso los límites son algo más reducidos. El grupo queda claramente diferenciado por sus valores de conductividad, superiores a los de los grupos anteriores, e igualmente por la relación entre cationes divalentes y monovalentes que se mueve, en general, dentro de los límites muy estrechos con valores inferiores a los de los grupos anteriores y muy próximos por defecto a los habitualmente referidos para ambientes marinos (MARGALEF, 1974); todo ello puede ser interpretado como consecuencia de una mayor influencia de las aguas marinas sobre las estaciones de este grupo. Los valores de alcalinidad, considerados en promedio, manifiestan un descenso que posiblemente se halla relacionado con el incremento paralelo del pH y sin duda es claro reflejo de la progresiva influencia de las aguas marinas, antes apuntada, aunque no puede descartarse la incidencia derivada del desarrollo de una importante actividad fotosintética (RAMÓN *et al.*, 1985).

Las aguas correspondientes a estos tres primeros grupos presentan las particularidades inherentes a la mezcla de agua dulce con agua marina; se trata, por tanto, de aguas salobres con una concentración de cloruros que abarca un amplio rango de variación del ión en este tipo de aguas, desde oligohalinas hasta polihalinas. Además, las relaciones iónicas en las mismas (tabla 1) se sitúan dentro de los márgenes señalados para los dos tipos extremos de aguas (MARGALEF, 1974 y 1983).

En las estaciones que conforman el grupo cuarto (●) es claramente notorio un importante incremento de los diferentes iones y, consecuentemente, de la conductividad. Este último parámetro, juntamente con la salinidad estimada a partir de la concentración de cloruros, parece indicar la existencia de una cierta similitud con el agua del mar; sin embargo, las concentraciones por exceso de algunos iones, tal es el caso del calcio y del magnesio y particularmente el sodio y el potasio, determinan unas relaciones iónicas alejadas de las consideradas normales para el agua marina (BAUDIN, 1980), obteniédose para la relación cationes divalentes –monovalentes los valores mínimos de toda la Albufera (tabla 1). Así pues, tanto por su ubicación en el seno de la Albufera como por las características del momento en que se obtuvieron las muestras –nula circulación, bajo nivel del agua e intensa evaporación– las estaciones de este cuarto grupo manifiestan un comportamiento claramente diferenciado de las aguas típicamente salobres (MARGALEF, 1974).

BIBLIOGRAFIA

AGUESSE, P. 1957. La classification des eaux poikilohalines, sa difficulté en Camargue, nouvelle tentative de classification. *Vie Milieu,* 8: 341-363.

BARCELÓ, B. y MAYOL, J. (Coords.). 1980. *Estudio ecológico de la Albufera de Mallorca.* Departamento de Geografía. Universidad de Palma de Mallorca. 406 pp.

BAUDIN, J. P. 1980. Contribution a l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens. I. Les principaux caractères physiques et chimiques des eaux de l'étang de Citis (B. -d. -R.). *Vie Milieu,* 30: 121-129.

BOLÓS, O. de y MOLINIER, R. 1958. Recherches phytosociologiques dans l'Île de Majorque. *Collect. Bot.,* 5: 699-865.

CARRADA, G. C.; COTTIGLIA, M. y FRESI, E. 1983. Mediterranean coastal lagoons: an ecological and economic challenge. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 28: 129-130.

CHASSANY, M. L. 1979. Influence de la mise en valeur agricole sur l'évolution biocénotique des bords d'étangs corses. *Rev. Biol. Ecol. médit.,* 5: 211-226.

COMIN, F. A. 1984. Características físicas y químicas y fitoplancton de las lagunas costeras, Encañizada, Tancada y Buda (Delta del Ebro). *Oecologia aquatica,* 7: 79-162.

CUADRAS, C. M. 1981. *Métodos de análisis multivariante.* Eunibar. Barcelona. 642 pp.

DAFAUCE, C. 1975. *La Albufera de Valencia. Un estudio piloto.* Icona. Monografías, 4. Ministerio de Agricultura. Madrid. 127 pp.

FERRER, X. y COMIN, F. A. 1979. Distribució i ecologia dels macròfits submergits del Delta de l'Ebre. *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.,* 44 (Sec. Bot., 3): 111-117.

FIALA, M. 1972. Études physico-chimiques des eaux et sédiments de l'étang Bages-Sigean (Aude).*Vie Milieu,* 23: 21-50.

FUSTER, J. (Dr.). 1973. *Estudio de los recursos hidráulicos totales de Baleares. Informe de síntesis general.* Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Industria y Ministerio de Agricultura. Madrid. 2 vols. 464 pp + 64 planos.

G. O. B. 1976. *Per què volem salvar S'Albufera.* Gràfiques Miramar. Palma de Mallorca. 24 pp.

HUTCHINSON, G. E. 1957. *A Treatise on Limnology. I. Geography, Physics and Chemistry.* John Wiley & Sons. New York. 1015 pp.

JAUME, G. 1980. Hidrología de la cuenca de Alcúdia. In: *Estudio ecológico de la Albufera de Mallorca.* (B. BARCELÓ y J. MAYOL, Coords.): 141-169. Palma de Mallorca.

JOHNSON, S. C. 1967. Hierarchical clustering schemes. *Psychometricka,* 32: 241-254.

KUENEN, D. J. 1977. Las zonas húmedas, capital vivo. *Vida Silvestre,* 21: 33-43.

MARGALEF, R. 1953. Materiales para la Hidrobiología de la isla de Mallorca. *Publ. Inst. Biol. Apl.,* 15: 5-111

MARGALEF, R. 1955. *Los organismos indicadores en la Limnología.* Ministerio Agricultura. Madrid. 300 pp.

MARGALEF, R. 1974. *Ecología.* Omega. Barcelona. 951 pp.

MARGALEF, R. 1983. *Limnología.* Omega. Barcelona. 1010 pp.

MARGALEF–MIR, R. 1981. *Distribución de los macrófitos de las aguas dulces y salobres del E y NE de España y su dependencia de la composición química del medio.* Fundación Juan March. Madrid. 62 pp.

MARTINEZ-TABERNER, A. 1983a. La franja dunar de la Badía d'Alcúdia (Mallorca). I. Estat actual de la màquia de *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *macrocarpa* (Sibth. et Sm.) Ball. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears,* 27: 7-22.

MARTINEZ-TABERNER, A. 1983b. La franja dunar de la Bahía de Alcúdia (Mallorca). II. Evaluación de una perturbación pírica, primeros resultados.*Boll. Soc. Hist. Nat. Balears,* 27: 23-32.

MUNTANER, A. 1980. Geología general. In: *Estudio ecológico de la Albufera de Mallorca.* (B. BARCELÓ y J. MAYOL, Coords.): 141-169. Palma de Mallorca.

NOBLE, G. y WOLFF, W. 1984. Importancia ecológica de las zonas húmedas. *Vida Silvestre,* 51: 184-197.

ODUM, E. P. 1972. *Ecología.* Interamericana. México. 639 pp.

PICORNELL, C. 1985. L'acció dels homes a S'Albufera. Segles XIX i XX. *Lluc,* 720: 8-14.

RAMÓN, G.; MARTÍNEZ-TABERNER, A. y MOYÁ, G. 1985. Relaciones entre nutrientes y clorofila "a" en las aguas de la Albufera de Alcúdia (Mallorca). *3 Cong. AEL. León. Res.* pp: 29-30

RIPOLL, P. 1980. Edafología. In: *Estudio ecológico de la Albufera de Mallorca.* (B. BARCELÓ y J. MAYOL, Coords): 74-82.

ROS, J. D. (Dr.). 1979. *Prácticas de Ecología.* Omega. Barcelona. 181 pp.

SCHACHTER, D.; SENEZ, J. y LEROUX-GILERON, J. 1953. Note préliminaire sur la dystrophie d'un étang saumâtre du litoral méditerranéen: L'Étang de l'Olivier. *Vie Milieu,* 4: 700-706.

SECHI, N. 1983a. Lo Stato trofico dello stagno di Casaraccio (Sardegna settentrionale). *Bol. Soc. Sarda Sci. Nat.*, 22: 177-188.

SECHI, N. 1983b. Lo stato trofico dello stagno di Pilo (Sardegna settentrionale). *Boll. Soc. Sarda Sci. Nat.*, 22: 189-201.

SNEATH, P. H. A. 1975. The application of computers to taxonomy. *J. Gen. Micro.*, 17: 201-226.

SUAREZ, F. 1976. Las áreas húmedas artificiales. *Vida Silvestre*, 18: 71-84.

SUREDA, J. 1985. S'Albufera de Mallorca i les seves possibilitats en el camp de l'Educació Ambiental. *Lluc*, 720: 36-37.

VÉLEZ, F. 1979. *Impactos sobre zonas húmedas naturales.* Icona. Monografías, 20. Ministerio de Agricultura. Madrid. 29 pp.